

Якщо частота власних повздовжніх коливань менше від частоти пульсацій тиску робочої рідини у гідроагрегаті, то при визначенні об'єму камери сильфона приймають, що він не залежить від пульсацій тиску робочої рідини у гідроагрегаті. Якщо ні, то для його розрахунку використовують, запропоновану нами, формулу (13).

**Висновки.** Таким чином, отримана нова залежність для визначення змінного, під дією пульсуючого тиску об'єму камери сильфона гідравлічних гасителів пульсацій тиску, яка може бути використана не тільки при проектуванні гідравлічних гасителів пульсацій тиску, а також інших гідравлічних пристроїв.

Розроблена інженера методика розрахунку та проектування пружних елементів гідравлічних гасителів пульсацій тиску, яка використана при проектуванні гідравлічного гасителя пульсацій тиску з автоматичним підстроюванням параметрів.

**Список літератури:** 1. Патент 82336 Україна, МПК F16L 55/04. Гаситель колебаний рідини в трубопроводі. на винахід / Андренко П.М., Білокінь І.І., Стеценко Ю.М., Свиначенко М.С.; заявник і патентовласник СП ЗАТ "ХЕМЗ – ІРЕС" / – № 200504242; заявл. 04.05.2005; опубл. 10.04.2006. Бюл. № 7. 2. Хвингия М.В. Вибрация пружин. М.: Машиностроение, 1969 – 287 с. 3. Григорьев А.Л., Вештак И.А. Динамический анализ цилиндрической пружины при семетричных условиях закрепления ее крайних витков // Вісник ХДПУ, 1999. вип. 42. – С. 125 – 134. 4. Грунауэр А.А., Тартаковский И.И., Григорьев А.Л. О связи силы пружины с законом ее деформирования // Теория механизмов и машин, 1985 – Вып. 39 – С. 7 – 22. 5. Григорьев А.Л., Вештак И.А., Дерябенко А.И. Влияние трения на колебания цилиндрических пружин топливной системы дизеля // Вестник НТУ "ХПИ", 2003, №1, т. 8. – С. 134 – 145. 6. Итбаев В.К., Скуратов Б.И., Федоров В.А., Янситова Н.А. Исследование предельных состояний сильфонных компенсаторов в условиях криогенных температур / Вестник УГАТУ, 2008. – № 1 (26), Т. 10. – С. 36 – 43. 7. Якушев В.Л., Кучерявенко Д.Г. Расчет сильфонов с учетом геометрической нелинейности // Электронный адрес: <http://www.ipdn.ru/rics/doc0/DB/b4/1-yak-k.htm>. 8. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов приборов. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с. 9. Сильфоны. Расчет и проектирование. / Андреева Л.Е., Беседа А.И., Богданова Ю.А. и др. Под ред. Андреевой Л.Е. / – М.: Машиностроение, 1975. 156 с. 10. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. Под ред. Феодосьева В.И. – МАШГИЗ, 1962. – 455 с. 11. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник. Под ред. Н.С. Ачеркана. – М.: Машиностроение, 1968. Т. 2. – 408 с. 12. Унифицированные пружины сжатия. Справочник. / Прохоренко И.Ф., Гавриленко Н.Г., Ильин А.Д., Томашев Л.А. – М.: Металлургия, 1982 – 646 с. 13. Любшиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. Изд. 2-е. – Минск: Вышэйш. Школа, 1969 – 464 с. 14. Григорьев А.Л., Вештак И.А. Проектирование пружин, испытывающих динамические нагрузки // Вісник ХДПУ, 1999. Вип. 65. – С. 122 – 128. 15. Григорьев А.Л., Дерябенко А.И. Операторные уравнения для определения частот собственных колебаний цилиндрической пружины // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ "ХПІ", 2001. Вип. 1. – С. 111 – 119. 16. Вибрация в технике: Справочник. В 6-ти томах. / Ред. В.Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1980. – Т. 3. Колебание машин, конструкций и их элементов. / Под ред. Ф.М. Дименберга и К.С. Колесникова. 1980. – 544 с.

*Поступила в редколлегию 21.10.2009*

**УДК 62-82:62-83**

**І. М. ФЕДОРЕНКО**, науковий співробітник (НТУ "ХПІ", м. Харків)

## **РОЗРОБКА МЕХАТРОННОГО ГІДРОАГРЕГАТА З ГІБРИДНИМ КЕРУВАННЯМ ВИКОНАВЧИМ МЕХАНІЗМОМ**

Приведены результаты аналитического обзора схемных решений современных мехатрон-

ных гидроагрегатов технологических и мобильных машин. Предложена перспективная схема и аппаратная реализация мехатронного гидроагрегата с частотным управлением вращения приводного асинхронного электродвигателя и внутренней обратной связью, которая позволяет создать гибридную схему регулирования производительностью насоса, расширить область применения гидроагрегата и повысить его надежность.

Results of analytical review of schematic decisions of modern mechatronical hydraulic aggregates of technological and mobile machines are instanced. The perspective scheme and device realization mechatronical the hydraulic aggregates with frequency management of rotation of the asynchronous electric motor and an internal feedback which allows to create the hybrid scheme of regulation by productivity of the pump is offered, to expand a area of application of the hydraulic aggregates and to increase its reliability.

**Вступ.** Однією з основних тенденцій розвитку мехатронних гідроагрегатів стаціонарних та мобільних машин є підвищення їх технічного рівня за рахунок підвищення ККД, розширення функціональних можливостей, зменшення собівартості. В процесі проектування таких гідроагрегатів необхідно виконати низку суперечливих вимог пов'язану з забезпеченням високого ККД та малої собівартості при заданому алгоритмі функціонування. На сьогодні існує два шляхи розв'язання цієї задачі, а саме застосування гідроагрегатів з регульованим об'ємним насосом, що дозволяє забезпечити на виконавчому механізмі гідроагрегата постійну потужність чи тиск або витрату в гідроагрегаті, та застосування приводних асинхронних електродвигунів з частотним регулюванням.

**Аналіз літературних джерел.** Питанням проектування мехатронних гідроагрегатів стаціонарних та мобільних машин присвячена достатньо велика кількість наукових робіт, наприклад [1 – 3]. В значній частині з них розглядаються мехатронні гідроагрегати з регульованим об'ємним насосом. Однак, такі мехатронні гідроагрегати мають обмежений діапазон регулювання витратою чи потужністю насоса, при зміні навантаження від нуля до номінального значення. Не забезпечують його діагностування в процесі роботи. Для підвищення ККД мехатронних гідроагрегатів провідні закордонні фірми, такі як Bosch Rexroth, Mannesmann Rexroth, використовують LS системи (Load-Sensing systems - чутливі до навантаження системи). Ці мехатронні гідроагрегати мають тіж недоліки що і гідроагрегати з регульованим об'ємним насосом. Сучасною тенденцією розвитку мехатронних агрегатів є використання частотного керування приводних асинхронним електродвигуном. Цим питанням присвячені роботи [4, 5] та ін. Однак, в них розглянуті тільки мехатронні агрегати з механічними виконавчими механізмами. Далі зупинимося на розгляді типових мехатронних гідроагрегатів.

Описаний в роботі [2] гідроагрегат, який виконано за замкнутою схемою циркуляції робочої рідини, внаслідок наявності витоків в рухомих елементах, неспроможний утримати виконавчий механізм в заданому положенні при відсутності живлення та наявності навантаження, та забезпечити точність позиціонування виконавчого механізму та регулювання у широкому діапазоні витратом насосу з об'ємним регулюванням в залежності від його навантаження. Це обумовлено конструктивними особливостями реверсивного насосу з об'ємним регулюванням, який має обмежений діапазон регулювання, та призводить до зливу надлишку робочої рідини з гідроагрегату через запобіжні клапани, внаслідок чого відбувається її нагрівання, що викликає скорочення часу її роботи, а в деяких випадках, потребує встановлення маслоохолоджувачів. Крім

того, така схема гідроагрегата не забезпечує постійну потужність на виході виконавчого механізму та не дозволяє проводити діагностування під час його роботи.

Відмінною особливістю мехатронного гідроагрегата керування виконавчим механізмом описаного в роботі [3] є те, що завдяки виконанню пристрою регулювання видатком насоса у вигляді гідроциліндра з регульованою пружиною, шток якого може займати два крайні положення у залежності від рівня тиску з виходу насоса, забезпечуючи таким чином на виході з насоса номінальний та мінімальний видатки, при знаходженні регулюючо-розподільчого пристрою в нейтральному положенні тиск на виході з насоса максимальний, а його видаток мінімальний. Це дещо знижує енергоспоживання цього мехатронного гідроагрегата та зменшує нагрівання робочої рідини. Однак, даний мехатронний гідроагрегат має такі самі недоліки, як і попередній.

В статті [6] описані мехатронні гідроагрегати керування виконавчими механізмами збудовані з використанням LS модулів. Ці мехатронні гідроагрегати мають високий ККД, навіть при малому навантаженні, так як насос постачає до гідроагрегату витрату і підтримує тиск, які визначаються реальною потребою виконавчих механізмів. Однак, вони не забезпечують постійну потужність на виході виконавчого механізму при зміні навантаження від нуля до максимального його значення. В цих мехатронних гідроагрегатах реалізований машинно дросельний принцип керування що призводить до нагрівання робочої рідини при роботі гідроагрегата, а отже до зменшення її часу експлуатації. Діагностування таких мехатронних гідроагрегатів потребує додаткового встановлення датчиків та електронних блоків.

Мехатронний гідроагрегат керування виконавчим механізмом, в якому реалізовано сучасну тенденцію їх побудови – застосування частотного керування, описано в статті [7]. Однак розглянутий в статті [7] мехатронний гідроагрегат нездатний забезпечити видаток нерегульованого насоса більшого від його максимального значення, крім того він повинен постійно працювати для компенсування витоків в регулюючо-розподільчому пристрої. Це призводить до зливу надлишку робочої рідини з мехатронного гідроагрегату через запобіжний клапан, внаслідок чого відбувається її нагрівання. Крім того, встановлення датчиків тиску і переміщення та крокового електродвигуна ускладнює його конструкцію та значно підвищує собівартість. Таким чином, можна констатувати важливу науково-технічну задачу – підвищення технічного рівня мехатронного гідроагрегата керування виконавчим механізмом за рахунок розробки його перспективної схеми.

**Мета статті.** Метою статті є розробка перспективної схеми та апаратної реалізації мехатронного гідроагрегата керування виконавчим механізмом з високими показниками технічного рівня.

**Мехатронний гідроагрегат з гібридним керуванням виконавчим механізмом.** Зроблений нами аналіз схемних рішень та виявлені особливості роботи мехатронних гідроагрегатів дозволив розробити його перспективну схему [8], яка базується на сучасній концепції їх побудови, апаратна реалізація якої зображена на рис. 1. Відмінною особливістю розробленого мехатронного гідроагрегата є те, що таке його конструктивне виконання дозволяє збільшити діапазон регулювання, розширити область застосування та підвищити надійність, будувати “холодні гідроагрегати”, за рахунок організації зворотного зв’язку по потужності споживання, який забезпечує регулювання напрямком, швидкістю переміщення і положення гідроциліндра за допомогою зміни частоти напруги живлення та напрямку обертів привідного асинхронного електродвигуна. Розширити його функціональні можливості за рахунок установа, послідовно, в лінії між трьохфазним випрямлячем та блоком керування ключами на-

пруги, за блоком згладжуючих конденсаторів, резистора навантаження, сигнали з входу і виходу якого подаються на вхід нелінійного перетворювача, що утворює зворотний зв'язок по потужності споживання, та виконання розподільчого пристрою у вигляді двостороннього гідрозамка. Крім того, запропонований мехатронний гідроагрегат дозволяє проводити діагностування під час його роботи. Він може бути побудований як за замкнутою, так і за розімкнутою схемами циркуляції робочої рідини.

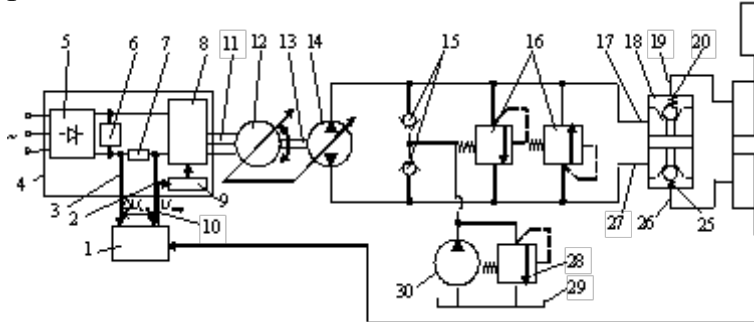


Рис. 1 – Принципова схема мехатронного гідроагрегата з гібридним керуванням виконавчим механізмом: 1 – нелінійний перетворювач; 2, 3, 10, 11 – проводи; 4 – система частотного керування; 5 – трьохфазний випрямляч; 6 – блок згладжуючих конденсаторів; 7 – резистор навантаження; 8 – блок керування ключами напруги; 9 – генератор керування частотою; 12 – асинхронний електродвигун; 13 – муфта; 14 – нерегульований реверсивний насос; 15 – зворотні клапани; 16, 28 – запобіжні клапани; 17, 19, 26, 27 – трубопроводи; 18 – гідрозамок; 20, 25 – пружини гідрозамка; 21 – зовнішнє навантаження; 22 – гідроциліндр; 23 – шток гідроциліндра; 24 – датчик переміщення; 29 – бак; 30 – насос пристрою підживлення

частотою заданою блоком керування ключами напруги 8.

Обертаючись електродвигун 12, через муфту 13, обертає вал нерегульованого реверсивного насосу 14, що призводить до появи витрати на його виході пропорційній частоті обертів. Пристрій підживлення та запобіжних клапанів, який складається з зворотних клапанів 15, насоса 30, запобіжних клапанів 16, 28 та бака 29, з'єднано трубопроводами 17 і 27 з входом і виходом нерегульованого реверсивного насосу 14, послугує для захисту мехатронного гідроагрегата від перевантаження і компенсації витоків рідини з нього та забезпечення його безкавітаційної роботи. Витрата з виходу нерегульованого реверсивного насосу 14 надходить до двостороннього гідрозамка 18, і який з'єднаний трубопроводами 17 і 27 з входом та - 19 і 26 виходом нерегульованого насосу 14 і гідроциліндром 22. В результаті чого підвищується тиск в одній з робочих порожнин гідрозамка 18 його поршень зміщується у бік, а штовхач відсуває від сидла один з запірних елементів, з'єднує одну порожнину гідроциліндра 22 з виходом нерегульованого реверсивного насосу 14, а інший запірний елемент відкривається за рахунок потоку робочої рідини з входу нерегульованого реверсивного насосу 14. Гідроциліндр 22 починає рухатися, долаючи зовнішнє навантаження 21. У відповідності до навантаження гідроциліндра 22 змінюється навантаження (крутний момент) на валу нерегульованого реверсивного насосу 14 та привідного асинхронного електродвигуна 12.

Розроблений мехатронний гідроагрегат працює наступним чином. Електричний сигнал  $U_{\text{зад}}$  подається на вхід нелінійного перетворювача 1, який виробляє пропорційний  $U_{\text{зад}}$  сигнал керування  $U_{\text{кер}}$ , який проводом 10, подається на вхід системи частотного керування 4, а саме на вхід генератора керування частотою 9, який задає закон керування та змінює частоту, в діапазоні від 0 до 400 Гц, на виході блока керування ключами напруги 8, який виробляє пропорційний  $U_{\text{кер}}$  електричний сигнал, що через провід 11 подається до асинхронного електродвигуна 12, і він починає обертатися з

На вході і виході резистора навантаження 7 формується, відповідний цьому навантаженню, сигнал  $\Delta U_{\text{спож}}$ , який надходить на вхід нелінійного перетворювача 1, де він порівнюється з  $U_{\text{зад}}$ , а їх різниця –  $U_{\text{кер}}$  надходить до блоку керування ключами напруги 8. Реалізується зворотній зв'язок по потужності споживання. Це забезпечує, у відповідності з заданим алгоритмом функціонування, регулювання напрямком, швидкістю переміщення і положення гідроциліндра 22 і підтримання постійними тиску, витрати, чи потужності на виході гідроциліндру 22 та зміни напрямку його руху за допомогою зміни частоти напруги живлення та напрямку обертання привідного асинхронного електродвигуна 12.

Таким чином, положення, напрямок та швидкість руху гідроциліндра 22 визначається електричним сигналом  $U_{\text{кер}}$ , що надходить з блоку керування ключами напруги 8 до привідного асинхронного електродвигуна 12, який обертає нерегульований реверсивний насос 14. При зміні знака сигналу  $U_{\text{зад}}$  на протилежний змінюється і знак  $U_{\text{кер}}$ , привідний асинхронний електродвигун 12 робить реверс (обертається в протилежну сторону), відповідно і в протилежну сторону обертається нерегульований реверсивний насос 14 – змінюється напрямок витрати в мехатронному гідроагрегаті. Це призводить до руху гідроциліндра 22 в протилежну сторону.

При відсутності витрати на виході з нерегульованого реверсивного насосу 14 (зупинки привідного асинхронного електродвигуна 12), внаслідок дії зовнішнього одnobічного навантаження на гідроциліндр 22, в одній з його робочих порожнин відбувається підвищення тиску, внаслідок чого один з запірних елементів гідрозамка 18 буде під дією цього тиску зміщуватися запираючи відповідну робочу порожнину гідроциліндра 22. Це дозволяє ліквідувати витоки в розподільчому пристрої і усунути самовільне переміщення гідроциліндра 22. Використання датчика переміщень 24 дозволяє додатково контролювати роботою мехатронного гідроагрегата у відповідності з заданим алгоритмом функціонування.

**Висновки.** Таким чином, розроблене перспективне схемне рішення мехатронного гідроагрегата та його апаратурна реалізація, яка дозволяє значно спростити його конструкцію, збільшити діапазон регулювання, підвищити ККД та розширити область застосування, будувати “холодні гідроагрегати” та покращити інші показники технічного рівня.

**Список літератури:** 1. Электрогидравлические следящие системы. Хохлов В.А., Прокофьев В.Н., Борисова Н.А. и др. Под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с. 2. Чупраков Ю.И. Гидропривод и средства гидропневмоавтоматики. М.: Машиностроение, 1979, – 232 с. 3. Аврунин Г.А., Грицай И.В., Кириченко И.Г. и др. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика: Учебное пособие. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – 412 с. 4. Локарев В. И. Оптимизация асинхронного электропривода на основе обобщенного критерия энергетической эффективности // Электромашинобудування та електрообладнання. – Київ: Техніка, 2006. – Вип. 66. – С. 305 – 306. 5. Муравлев О.П., Муравлева О.О. Обеспечение энергоэффективности при использовании асинхронных двигателей в регулируемом электроприводе // Электромашинобудування та електрообладнання. – Київ: Техніка, 2006. – Вип. 66. – С. 307 – 308. 6. Бондар В.А. Новые решения в гидроприводе тракторов // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2003. – № 2. – С. 81 – 84. 7. Тихенко В.Н. Разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2006. – № 1 (11). – С. 84 – 86. 8. Заявка на патент України на корисну модель, МПК F 15 В 9/00/. Мехатронний гідроагрегат керування виконавчим механізмом / Федоренко І.М., Лур'є З.Я., Батлук В.А. – № u 200908810; заявл. 25.08.09.